

## **Verfahren zum Betrieb einer Synchronmaschine**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Synchronmaschine mit einem permanent erregten Rotor und einem mit Phasenwicklungen versehenen Stator, bei der eine Ermittlung der Rotorlage durchgeführt wird. Außerdem betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Betrieb einer Synchronmaschine mit einem permanent erregten Rotor und einem mit Phasenwicklungen versehenen Stator, die mit einer Ansteuerelektronikeinheit, die einen Datenspeicher für Rotorlagenwerte aufweist, verbunden ist, wobei ein Auslesen des im Datenspeicher gespeicherten Rotorlagenwertes durchgeführt wird.

Aus der Offenlegungsschrift DE 103 11 028 A1 ist ein Verfahren zur Bestimmung einer Startrotorlage und Drehzahl bei Impulsfreigabe einer stromrichter gespeisten, permanent erregten Synchronmaschine ohne Lage- und Drehzahlgeber bekannt. Bei dem vorbekannten Verfahren wird zunächst die Rotorlage nach dem Start der Synchronmaschine ermittelt, wobei dieser Vorgang nach einer vorbestimmten Zeitspanne wiederholt wird. Zusätzlich wird dabei die Drehzahl der Synchronmaschine ermittelt. Bei der Ermittlung der Rotorlage kann es allerdings zu Fehlern kommen, die im gesamten weiteren Betrieb der Synchronmaschine auftreten, da keine Überprüfung der ermittelten Rotorlagenwerte vorgesehen ist, was als weniger vorteilhaft anzusehen ist.

Eine erste Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren darzustellen, das Fehler und insbesondere Winkelfehler bei der Ermittlung der Rotorlage eliminiert. Eine zweite Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein

- 2 -

Verfahren darzustellen, das Fehler und insbesondere Winkelfehler des gespeicherten Rotorlagenwertes eliminiert.

Die erste Aufgabe wird verfahrensmäßig dadurch gelöst, dass zur Korrektur eines etwaigen Winkelfehlers bei lastloser Synchronmaschine in die Phasenwicklungen mindestens ein Strom- und/oder Spannungsvektor mit definierter Zeitdauer in Richtung der ermittelten Rotorlage eingespeist wird. Dadurch wird eine Ausrichtung des Rotors der Synchronmaschine in die entsprechende Winkellage erzwungen.

Eine besonders vorteilhafte Weiterbildung sieht vor, dass zeitgleich zur Einspeisung des mindestens einen Spannungs- oder Stromvektors, die relative Änderung der Rotorlage mit einem Sensorelement bestimmt wird.

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung besteht darin, dass die relative Änderung bei einer weiteren Ermittlung der Rotorlage berücksichtigt wird.

Bei der Ermittlung der Rotorlage werden an die Phasenwicklungen rechteckförmige Spannungsimpulse angelegt. Dabei ist vorgesehen, dass zeitgleich zum Anlegen der rechteckförmigen Spannungsimpulse eine etwaige relative Änderung der Rotorlage mit einem Sensorelement bestimmt wird.

Bei einer besonders vorteilhaften Ausführung ist vorgesehen, dass weitere Strom- und/oder Spannungsvektoren in von der aktuellen Rotorlage abweichenden Winkel eingespeist werden und dass das Maß der relativen Änderung der Rotorlage als Kriterium für die Beurteilung der Freigängigkeit (Lastlosigkeit) der Synchronmaschine verwendet wird.

Eine weitere vorteilhafte Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass der sich durch das Anlegen des Spannungsvektors einstellende Stromvektor mit Hilfe einer Strommesseinrichtung ermittelt wird und als Kriterium für die Beurteilung des Zustandes der elektrischen Anschlüsse der Phasenwicklungen verwendet wird.

Die zweite Aufgabe der vorliegenden Erfindung wird verfahrensmäßig dadurch gelöst, dass zur Korrektur eines etwaigen Winkelfehlers bei lastloser Synchronmaschine in die Phasenwicklungen mindestens ein Strom- und/oder Spannungsvektor mit definierter Zeitdauer in Richtung der gespeicherten Rotorlage eingespeist wird. Durch diese Maßnahme wird eine Ausrichtung des Rotors der Synchronmaschine in die entsprechende Winkellage erzwungen.

Dabei ist vorgesehen, dass vor dem Auslesen des im Datenspeicher gespeicherten Rotorlagenwertes überprüft wird, ob der Rotor seit der letzten Speicherung des Rotorlagenwertes mit einer Verdrehsicherung gegen Verdrehen gesichert war.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung wird zeitgleich zur Einspeisung des mindestens einen Spannungs- oder Stromvektors, die relative Änderung der Rotorlage mit einem Sensorelement bestimmt und das Maß der relativen Änderung der Rotorlage als Kriterium für die Qualität der gespeicherten Rotorlagenwerte verwendet.

Außerdem ist vorgesehen, dass der sich durch das Anlegen des Spannungsvektors einstellende Stromvektor mit Hilfe einer Strommesseinrichtung ermittelt wird und als Kriterium für die Beurteilung des Zustandes des elektrischen Anschlusses der Phasenwicklungen verwendet wird.

Die Erfindung wird nachfolgend im Zusammenhang mit der beiliegenden Zeichnung näher erläutert, deren einzige Figur ein Blockschaltbild einer Vorrichtung zur Durchführung der vorhin erläuterten, erfindungsgemäßen Verfahren zeigt.

Die in Fig. 1 dargestellte Synchronmaschine 1 weist einen Stator auf, der mit einer symmetrischen, zweipoligen und dreisträngigen Drehstromwicklung versehen ist. Ein mit dem Stator zusammenwirkender Rotor wird durch einen Permanentmagneten gebildet. Außerdem ist der Synchronmaschine 1 eine Ansteuerelektronikeinheit 2 zugeordnet, die einen Datenspeicher 6 für Rotorlagenwerte und weitere Speicherwerte, wie etwa Regler- und Maschinenparameter, aufweist. Die Ansteuerungselektronikeinheit 2 weist ein Ansteuerungssoftwaremodul 3 sowie eine Leistungsstufe 4, in die eine Strommesseinrichtung integriert ist, auf. Dabei werden die Spannungssignale der Leistungsstufe 4 an die Phasenwicklungen U, V und W der Synchronmaschine 1 angelegt. Dem eben erwähnten Ansteuerungssoftwaremodul 3 werden die eine Rotorlageänderung der Synchronmaschine 1 repräsentierenden Ausgangssignale  $\Delta\phi$  eines relativen Rotorlagesensors 5 zugeführt.

Bei bisher bekannten Verfahren zur Ermittlung der Rotorlage werden die Rotorlagenwerte nicht auf ihre Richtigkeit überprüft und der weitere Betrieb der Synchronmaschine 1 mit den mit Unsicherheiten behafteten Rotorlagewerten fortgesetzt. Gemäß dem vorliegenden erfindungsgemäßen Verfahren wird nun vorgeschlagen, dass nach einer Ermittlung der Rotorlage bei lastloser Synchronmaschine 1 von der Leistungsstufe 4 mindestens ein Strom- oder Spannungsvektor in Richtung der ermittelten Rotorlage in die Phasenwicklungen U, V und W eingespeist wird. Durch diese Maßnahme wird eine Ausrichtung des Rotors in die durch den eingespeisten Strom- bzw. Spannungsvektor vorgegebene Winkellage durchgeführt. Dadurch ist

sichergestellt, dass sich der Rotor in der zuvor ermittelten Winkellage befindet. Zeitgleich zur eben beschriebenen Einspeisung eines Strom- oder Spannungsvektors erfasst der relative Rotorlagesensor 5 die während der Ausrichtung vollzogene relative Änderung der Rotorlage, falls die ermittelte Rotorlage von der tatsächlichen Rotorlage abweichen sollte. Diese relative Änderung  $\Delta\phi$  der Rotorlage wird dem Ansteuerungssoftwaremodul 3 zugeführt und bei einer weiteren Ermittlung der Rotorlage berücksichtigt, indem die relative Änderung  $\Delta\phi$  in eine Korrekturfunktion einfließt. Diese Korrekturfunktion wird bei einer erneuten Ermittlung der Rotorlage auf die ermittelten Rotorlagenwerte angewendet. Durch diese Maßnahme kann eine weitere Rotorlagenermittlung mit erhöhter Präzision durchgeführt werden.

Bei der eben erwähnten Ermittlung der Rotorlage wird die durch die Rotorbewegungen verursachte Induktivitätsänderung der Phasenwicklungen U, V und W bestimmt. Dies erfolgt, indem rechteckförmige Spannungsimpulse an die Phasenwicklungen U, V und W angelegt werden. Gleichzeitig wird der Verlauf des durch die Phasenwicklungen U, V und W fließenden Stroms  $I_U$ ,  $I_V$  und  $I_W$  von der Strommesseinrichtung in der Leistungsstufe 4 ermittelt und dem Ansteuerungssoftwaremodul 3 zugeführt. Der Stromverlauf  $I_U$ ,  $I_V$  und  $I_W$  lässt auf die Position des Rotors schließen. Verändert sich die Position des Rotors, so ändert sich auch der Verlauf des durch die Phasenwicklungen fließenden Stroms. Zusätzlich wird zeitgleich zum Anlegen der rechteckförmigen Spannungsimpulse eine etwaige relative Änderung der Rotorlage mit dem relativen Rotorlagesensor 5 erfasst und ebenfalls dem Ansteuerungssoftwaremodul 3 zugeführt.

Von der Leistungsstufe 4 werden weitere Strom- bzw. Spannungsvektoren in von der ermittelten Rotorlage abweichenden Winkeln in die Phasenwicklungen U, V und W der Synchronmaschine 1 eingespeist, wenn die Synchronmaschine 1 lastlos ist, das heißt wenn sich die Synchronmaschine 1 im Stillstand befindet. Gleichzeitig wird die relative Änderung der Rotorlage durch den relativen Rotorlagesensor 5 bestimmt. Dabei ist das Maß der relativen Änderung der Rotorlage ein Kriterium für die Freigängigkeit der Synchronmaschine 1.

Außerdem wird der Zustand der elektrischen Anschlüsse der Phasenwicklungen U, V und W der Synchronmaschine 1 beurteilt. Dies geschieht, indem der sich durch das Anlegen des Spannungsvektors einstellende Stromvektor mit Hilfe der Strommesseinrichtung in der Leistungsstufe 4 ermittelt wird. Falls der ermittelte Stromvektor eine andere Winkellage als der eingespeiste Spannungsvektor aufweist, ist davon auszugehen, dass mindestens einer der elektrischen Anschlüsse der Phasenwicklungen U, V und W nicht funktionstüchtig ist. Außerdem wird über den Betrag des Stromvektors der elektrische Widerstand in den Phasenwicklungen U, V und W ermittelt.

Falls keine Ermittlung der Rotorlage vorgesehen ist, sondern der Betrieb der Synchronmaschine 1 mit Hilfe von im Datenspeicher 6 der Ansteuerelektronikeinheit 2 gespeicherten Rotorlagenwerte durchgeführt wird, so sieht ein weiteres Verfahren der vorliegenden Erfindung vor, dass mindestens ein Strom- bzw. Spannungsvektor mit definierter Zeitdauer in Richtung der gespeicherten Rotorlage in die Phasenwicklungen U, V und W eingespeist wird. Dadurch wird eine Ausrichtung des Rotors in die durch den eingespeisten Strom- bzw. Spannungsvektor vorgegebene Winkellage durchgeführt und es ist sichergestellt, dass sich der Rotor tatsächlich in der ge-

speicherten Winkellage befindet. Falls der gespeicherte Rotorlagenwert von der tatsächlichen Rotorlage abweichen sollte, so erfasst der relative Rotorlagesensor 5 die während der Ausrichtung vollzogene relative Änderung der Rotorlage zeitgleich zur eben beschriebenen Einspeisung eines Strom- oder Spannungsvektors. Diese relative Änderung  $\Delta\phi$  der Rotorlage wird dem Ansteuerungssoftwaremodul 3 zugeführt und ist ein Kriterium für die Qualität der im Datenspeicher 6 der Ansteuerelektronikeinheit 2 gespeicherten Rotorlagenwerte. Außerdem ist die relative Änderung  $\Delta\phi$  ein Kriterium für die Qualität aller im Datenspeicher 6 gespeicherten Speicherwerte, wie Regler- und Maschinenparameter.

Eine weitere Verbesserung der sicheren Inbetriebnahme der Synchronmaschine 1 besteht darin, dass vor dem Auslesen des im Datenspeicher 6 der Ansteuerelektronikeinheit 2 gespeicherten Rotorlagenwertes überprüft wird, ob der Rotor seit der letzten Speicherung des Rotorlagenwertes mit einer Verdrehsicherung gegen Verdrehen gesichert war. In diesem Fall wird erwartet, dass ein Einspeisen eines Strom- bzw. Spannungsvektors in Richtung der gespeicherten Rotorlage keine relative Lageänderung des Rotors zur Folge hat. Dies wird, wie bereits beschrieben, mit dem relativen Rotorlagesensor 5 ermittelt.

Auch bei diesem Verfahren wird der Zustand der elektrischen Anschlüsse der Phasenwicklungen U, V und W der Synchronmaschine 1 beurteilt. Der sich durch das Anlegen des Spannungsvektors einstellende Stromvektor wird dabei mit Hilfe der Strommesseinrichtung in der Leistungsendstufe 4 ermittelt. Falls der ermittelte Stromvektor eine andere Winkellage als der eingespeiste Spannungsvektor aufweist, ist davon auszugehen, dass mindestens eine der Phasenwicklungen U, V

und W nicht an die Leistungsendstufe 4 angeschlossen ist. Außerdem wird über den Betrag des Stromvektors der elektrische Widerstand in den Phasenwicklungen U, V und W ermittelt.



**Patentansprüche**

1. Verfahren zum Betrieb einer Synchronmaschine (1) mit einem permanent erregten Rotor und einem mit Phasenwicklungen versehenen Stator, bei der eine Ermittlung der Rotorlage durchgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Korrektur eines etwaigen Winkelfehlers bei lastloser Synchronmaschine (1) in die Phasenwicklungen mindestens ein Strom- und/oder Spannungsvektor mit definierter Zeitdauer in Richtung der ermittelten Rotorlage eingespeist wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zeitgleich zur Einspeisung des mindestens einen Spannungs- oder Stromvektors, die relative Änderung der Rotorlage mit einem Sensorelement (5) bestimmt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die relative Änderung bei einer weiteren Ermittlung der Rotorlage berücksichtigt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Ermittlung der Rotorlage an die Phasenwicklungen rechteckförmige Spannungsimpulse angelegt werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass zeitgleich zum Anlegen der rechteckförmigen Spannungsimpulse eine etwaige relative Änderung der Rotorlage mit einem Sensorelement (5) bestimmt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass weitere Strom- und/oder Spannungsvektoren in

von der aktuellen Rotorlage abweichenden Winkeln eingespeist werden und dass das Maß der relativen Änderung der Rotorlage als Kriterium für die Beurteilung der Freigängigkeit (Lastlosigkeit) der Synchronmaschine (1) verwendet wird.

7. Verfahren zum Betrieb einer Synchronmaschine (1) mit einem permanent erregten Rotor und einem mit Phasenwicklungen versehenen Stator, die mit einer Ansteuer-elektronikeinheit (2), die einen Datenspeicher (6) für Rotorlagenwerte aufweist, verbunden ist, wobei ein Auslesen des im Datenspeicher (6) gespeicherten Rotorlagenwertes durchgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Korrektur eines etwaigen Winkelfehlers bei lastloser Synchronmaschine (1) in die Phasenwicklungen mindestens ein Strom- und/oder Spannungsvektor mit definierter Zeitdauer in Richtung der gespeicherten Rotorlage eingespeist wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor dem Auslesen des im Datenspeicher (6) gespeicherten Rotorlagenwertes überprüft wird, ob der Rotor seit der letzten Speicherung des Rotorlagenwertes mit einer Verdrehsicherung gegen Verdrehen gesichert war.
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass zeitgleich zur Einspeisung des mindestens einen Spannungs- oder Stromvektors, die relative Änderung der Rotorlage mit einem Sensorelement (5) bestimmt wird und dass das Maß der relativen Änderung der Rotorlage als Kriterium für die Qualität der gespeicherten Rotorlagenwerte verwendet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der sich durch das Anlegen des Spannungsvektors einstellende Stromvektor mit Hilfe einer Strommesseinrichtung (4) ermittelt wird und als Kriterium für die Beurteilung des Zustandes der elektrischen Anschlüsse der Phasenwicklungen verwendet wird.